

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 63-200605
 (43)Date of publication of application : 18.08.1988

(51)Int.CI. H03F 3/217
 F16C 32/04

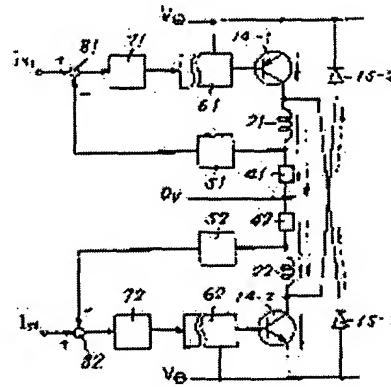
(21)Application number : 62-031597 (71)Applicant : YASKAWA ELECTRIC MFG CO LTD
 (22)Date of filing : 16.02.1987 (72)Inventor : ISHIDA KIYOSHI

(54) POWER AMPLIFIER FOR GENERATING MAGNETIC ATTRACTION FORCE

(57)Abstract:

PURPOSE: To improve the responsiveness by constituting 1st and 2nd current control systems so as to give a current in response to a current command to an electromagnetic coil.

CONSTITUTION: A cathode of a diode 15-1 whose anode is connected to a negative DC power supply is connected to a connecting point between a 1st transistor (TR) 14-1 and a 1st electromagnetic coil 21, an anode of a 2nd diode 15-2 whose cathode is connected to a positive DC power supply is connected to a connecting point between a 2nd TR 14-2 and a 2nd electromagnetic coil 22, the flywheel current of the 1st electromagnetic coil 21 given by the positive DC power supply is attenuated by the 2nd electromagnetic coil 22 given by the negative DC power supply is attenuated by the positive DC power supply. Since the responsiveness of the current control is improved, the responsiveness of the control loop of a magnetic attracting force generator is increased.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(1)

⑩ 日本国特許庁 (JP) ⑪ 特許出願公開
 ⑫ 公開特許公報 (A) 昭63-200605

⑬ Int.Cl.
 H 03 F 3/217
 F 16 C 32/04

識別記号 廷内整理番号
 7827-5J
 A-6718-3J

⑬ 公開 昭和63年(1988)8月18日

審査請求 未請求 発明の数 1 (全8頁)

⑭ 発明の名称 磁気吸引力発生用パワーアンプ

⑮ 特 願 昭62-31597

⑯ 出 願 昭62(1987)2月16日

⑰ 発明者 石田 精 福岡県北九州市八幡西区大字藤田2346番地 株式会社安川
 電機製作所内

⑱ 出願人 株式会社安川電機製作所 福岡県北九州市八幡西区大字藤田2346番地

⑲ 代理人 弁理士 服部 修一

明細書

1. 発明の名称

磁気吸引力発生用パワーアンプ

2. 特許請求の範囲

(1) 互いに逆向きの磁気吸引力を発生させる2つの電磁石をもつ磁気吸引力発生装置に用いられ、スイッチング素子をオン・オフし、そのパルス幅変調することによって電流制御するPWM方式の磁気吸引力発生用パワーアンプにおいて、正及び負の直流電源と、該正の直流電源とグランド間に第1のスイッチング素子と、第1の電磁石コイルと該第1の電磁石コイルの電流を検出する第1の電流検出手段を具備するとともに、前記第1のスイッチング素子と前記第1の電磁石コイルの接続部に負の直流電源にアノードを接続した第1のダイオードのカソードを接続し、前記負の直流電源とグランド間に第2のスイッチング素子と第2の電磁石コイルと、該第2の電磁石コイルの電流を検出する第2の電流検出手段を具備し、且つ、前記第2のスイッチング素子と前記第2の電磁石コ

イルの接続部に正の直流電源にカソードを接続した第2のダイオードのアノードを接続し、正の直流電源によって与えられた第1の電磁石コイルの電流のフライホイール電流を負の直流電源で消滅させ、負の直流電源によって与えられた第2の電磁石コイルの電流のフライホイール電流を正の直流電源で消滅させることを特徴とする磁気吸引力発生用パワーアンプ。

(2) 磁気吸引力発生装置は3個以上の電磁石コイルをもつ磁気吸引力発生装置であることを特徴とする特許請求の範囲第1項記載の磁気吸引力発生用パワーアンプ。

(3) 電流検出手段が、シャント抵抗を用いたもの、または、ホール素子を利用したものであることを特徴とする特許請求の範囲第1項記載の磁気吸引力発生用パワーアンプ。

(4) スイッチング素子がトランジスタであることを特徴とする特許請求の範囲第1項記載の磁気吸引力発生用パワーアンプ。

(5) 直流電源は電圧制御装置を備えたものであ

ることを特徴とする特許請求の範囲第1項記載の磁気吸引力発生用パワーアンプ。

(6) 直流電源の電圧制御装置は、正及び負の直流電源の電圧を検出する電圧検出手段と、その2つの信号を加算する加算器と、その信号を受けて位相補償する電圧制御器と、基準電流指令信号と前記電圧制御器の信号を加算する第2の加算器と、前記基準電流指令信号と前記電圧制御器の信号を減算する減算器と、前記第2の加算器と前記減算器の出力信号を電流指令信号として受けるものであることを特徴とする特許請求の範囲第5項記載の磁気吸引力発生用パワーアンプ。

(7) 直流電源の電圧制御装置は、2つのリアクトルを用いて電流制御及び電圧制御をするものである特許請求の範囲第6項記載の磁気吸引力発生用パワーアンプ。

(8) 直流電源の電圧制御装置は、電流の加速に正(又は負)の電源を用いて磁気吸引力発生用電磁石のコイルの電流を制御する少なくとも1つの電流制御系に対し、電流の加速に負(又は正)の

電源を用いてリアクトルの電流と直流電源の電圧調整も行なうものであることを特徴とする特許請求の範囲第6項記載の磁気吸引力発生用パワーアンプ。

3. 発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

この発明は、非接触浮上させる、磁気軸受装置や、磁気浮上装置等の磁気吸引力発生装置に用いる電流増幅用のパワーアンプに関するものである。

(従来の技術)

摩擦を少なくして高精度位置決めを可能としたり、回転体を高速で回すこと可能としたり、真空などの特殊環境下での使用をも可能とする支持方法として磁気力を利用した磁気軸受装置や磁気浮上装置が多く用いられるようになった。

この磁気力を発生させる方法の1つとして電磁石を利用したものがあり、電磁石コイルに電流を供給して生じる磁気吸引力が主に利用されている。

その電流供給手段すなわちパワーアンプにいくつかの方法があるが、それらには、おおむね高効

率であること、応答性がよいことが要求されている。

従来用いられている方法のうち、第1の方法として、特開昭58-54220号公報に示されているものがある。これはいわゆるブッシュアル方式のリニアアンプであるが、応答性を良くするには電源電圧を上げねばならず、そうすれば供給電力のほとんどがトランジスタの発熱となって消費され効率が極めて悪くなるのみならず、熱容量の非常に大きなトランジスタや冷却装置が必要となり高価となる欠点がある。また発熱を減らすため電源電圧を下げればそれだけ電流の応答性が悪くなり、場合によっては、磁気軸受制御ループの安定化を損なうことにもなりかねないという欠点があった。

このように大きな欠点をもつ方法に代り、第2の方法として例えば特開昭57-73223号公報に示されるような、PWM方式のアンプが考えられた。この方法によるとトランジスタをオンすると、電磁石コイルの電流は与えられた直流電源

電圧 V_{dc} に従い、およそ $V_{dc} = L \frac{di}{dt}$ で関係づけられる立上りをする。

しかし、トランジスタをオフするとライホール電流はダイオードとで作られるループを循環するが、ダイオードの順方向電圧 V_d によって、電流が減衰され、 V_d が 1V 以下であるので

$V_d = L \frac{di}{dt}$ から非常にゆるい減衰しかできないのである。

このことは、電流制御しようとしても応答性を高くすることは全く期待できないことを意味しており、磁気軸受制御ループの安定化も期待できないことをも意味している。

(発明が解決しようとする問題点)

以上のように、従来の方法では、応答性が悪いとか、効率が悪いなどの欠点をもっていたので、この発明はそれを飛躍的に良くしようとするのである。

(問題点を解決するための手段)

そうするために、この発明は、1つの電磁石コイルにスイッチング素子、ダイオード、電流検出手段を各1個づつで構成させるのである。そして、その構成には、正の直流電源とグランド間に第1のスイッチング素子と第1の電磁石コイルと、その電流を検出手段を設け、負の直流電源にアノードを接続した第1のダイオードのカソードを第1のスイッチング素子と第1の電磁石コイルの接続部に接続し、これらによって第1の主回路を構成する。また、負の直流電源とグランド間に第2のスイッチング素子と第2の電磁石コイルと、その電流を検出手段を設け、正の直流電源にカソードを接続した第2のダイオードのアノードを第2のスイッチング素子と第2の電磁石コイルの接続部に接続し、これらによって第2の主回路を構成する。それぞれの主回路は、電流指令と電流検出手段の検出信号を減算する減算器と、その信号をうける電流制御器により第1、第2の電流制御系を構成し、電流指令に応じた電流が電磁石コイルに流れれるよう構成する。ま

7

$$V_{\odot} = L \frac{di}{dt}$$

小さくなる。第2の主回路についても同様の動作をし、いずれも電流の立ち上り、立ち下りがおよそ同じとなるので、電流制御をする際も応答性を高くすることができるものである。

そして、2つの電流制御系の電流の大きさが異なれば、合計すると、一方の電源は放電され、他方の電源は充電されるので電圧が変化するが、第3、第4の電流制御系を用いて、前述と逆の動作を行ない、電源電圧を一定ならしめるのである。

〔実施例〕

第1図に本発明の実施例を示すもので、0Vは、主回路及び制御回路のグランド線、 V_{\odot} は、主回路の正の直流電源、 V_{\ominus} は主回路の負の直流電源である。 V_{\odot} 、 V_{\ominus} はその電圧も示すものとする。

第1のスイッチング素子14-1は、ここではPNPトランジスタであるが、エミッタを V_{\odot} に接続し、ベースを第1のベースドライブ回路61に接続し、コレクタを第1の電磁石コイル21と

た、2つのリアクトルを用い上記2つの電流制御系を別に構成し、第3、第4の電流制御系を構成する。そして、正・負の電源電圧を検出する2つの電圧検出手段と、その和を求める加算器と、その信号をうけて指令信号を出す電圧制御器と、基準電流指令値と該電圧制御器の信号を加算／減算して第1／第2の電流制御系に電流指令を与える加算器／減算器により、正及び負の電源電圧を一定に保持するよう電圧制御ループも構成したものである。

〔作用〕

このように構成することにより、スイッチング素子がオンすると、電磁石コイルの両端には、正の電源電圧がかかり、 $V_{\odot} = L \frac{di}{dt}$ で関係づけられる変化率で電流が大きくなり、一方、スイッチング素子がオフすると、電磁石コイルのフライホイール電流により、負の直流電源からダイオードを通して電磁石コイルに電圧が流れ込み、電磁石コイルの両端には負の電流がかかるので

8

第1のダイオード15-1のカソードに接続されている。

第1のダイオード15-1のアノードは V_{\odot} に接続されている。第1の電磁石コイル21のもう一端は、第1の増幅器51と第1のシャント41に接続され、第1のシャント41の他端は0Vに接続されている。これら第1の増幅器51とシャント41で第1の電磁石コイル21の電流を検出手段を構成している。また、第1のスイッチング素子14-1、第1の電磁石コイル21、ダイオード15-1及び第1のシャント41で第1の主回路を構成している。

電磁石コイル21の電流の指令信号 I_{ref} と、第1の増幅器51の出力として得られる、検出信号を入力とする第1の減算器81によって差が得られ、これを入力として第1の電流制御器71が働き、第1のトランジスタ14-1のオン・オフ信号を第1のベースドライブ回路61に送る。

第1の電流制御器71は、少なくとも位相補償回路とコンバレータから成り、位相補償回路は、

9

10

通常 P I D 検出回路であるが、I (積分) と D (微分) はなくとも構わない。そしてそのコンバーラーは P I D 検出回路の出力信号を入力とし、一定基準値との比較をして H₁ か L₁ の出力をするが、一定基準値の代わりに周波数振幅が一定の三角波又はノコギリ波を用いてもよい。

第1のベースドライブ回路 6₁ は入出力が絶縁されており、第1の電流制御器 7₁ から第1のトランジスタ 14-1 のオン信号をうけると V₀ より低い電位を第1のトランジスタ 14-1 のベースに与えオフさせる。また第1の電流制御器 7₁ から第1のトランジスタ 14-1 のオフ信号をうけると V₀ と同電位を第1のトランジスタ 14-1 のベースに与えそれをオフさせる。

ここで第1の電流制御器 7₁、第1のベースドライブ回路 6₁、第1の増幅器 5₁ と前記第1の主回路と第1の演算器 8₁ とで、第1の電磁石コイル 2₁ の電流を I₁ に追従させる第1の電流制御系、すなわち磁気軸受用パワーアンプを構成している。

1 1

7₂ が働き、第2のトランジスタ 14-2 のオン・オフ信号を第2のベースドライブ回路 6₂ に送る。ここで第2の電流制御器 7₂ と第2のベースドライブ回路は、それぞれ第1の電流制御器 7₁ と第1のベースドライブ回路とおよそ同じ内容のものである。

第2のベースドライブ回路 6₂ は第2の電流制御器 7₂ から第2のトランジスタ 14-2 のオン信号をうけると、V₀ より高い電位を第2のトランジスタ 14-2 のベースに与えてそれをオフさせる。

また第2の電流制御器 7₂ から第2のトランジスタ 14-2 のオフ信号をうけると、V₀ と同電位を第2のトランジスタ 14-2 のベースに与えそれをオフさせる。ここで、第2の電流制御器 7₂、第2のベースドライブ回路 6₂ 及び第2の増幅器 5₂ と第2の主回路と第2の演算器 8₂ とで、第2の電磁石コイル 2₂ の電流を I₂ に追従させる第2の電流制御系、すなわち、磁気軸受用パワーアンプを構成している。

1 3

第2のスイッチング素子 14-2 は、ここでは NPN トランジスタであるが、エミッタを V₀ に接続し、ベースを第2のベースドライブ回路 6₂ に接続し、コレクタを第2の電磁石コイル 2₂ と第2のダイオード 15-2 のアノードに接続されている。そして第2のダイオード 15-2 のカソードは V₀ に接続されている。また第2の電磁石コイル 2₂ のもう一端は第2の増幅器 5₂ と第2のシャント 4₂ に接続され、この第2のシャント 4₂ の他端は 0V に接続されている。こゝで第2の増幅器 5₂ と第2のシャント 4₂ で第2の電磁石コイル 2₂ の電流を検出する電流検出手段を構成している。

また、第2のトランジスタ 14-2、第2の電磁石コイル 2₂、第2のダイオード 15-2 及び第2のシャント 4₂ で、第2の主回路を構成している。第2の電磁石コイル 2₂ の電流の指令信号 I₁₂ と、第2の増幅器 5₂ の出力として得られる検出信号を入力とする第2の演算器 8₂ によって差が得られ、これを入力として第2の電流制御器

1 2

以上のような構成において、電流指令 I₁₂ が与えられ、その時の第1の電磁石コイル 2₁ の電流がゼロであったとしよう。その時第1の電流制御器 7₁ の入力信号は + であり、第1の電流制御器 7₁ が働いて第1のトランジスタ 14-2 のオン信号を第1のベースドライブ回路 6₁ に送る。これをうけて第1のベースドライブ回路 6₁ は、V₀ より低い電位を第1のトランジスタ 14-1 のベースに与え、第1のトランジスタ 14-1 がオンされる。第1の電磁石コイル 2₁ には、およそ V₀ の電圧がかかるので $V_0 - L \frac{di}{dt}$ に従って電流が増加していく。

そして、電流が増加していき、第1の増幅器 5₁ の出力が I₁₂ より大きくなると第1の電流制御器 7₁ の入力信号は負となり、第1のベースドライブ回路 6₁ に第1のトランジスタ 14-1 のオフ信号を送る。これをうけた第1のベースドライブ回路 6₁ は、V₀ と同電位を第1のトランジスタ 14-1 のベースに与え、第1のトランジ

1 4

タ14-1がオフされる。第1のトランジスタ14-1がオフされるとエミッターコレクタ電流がゼロとなるが、第1の電磁石コイル21はインダクタンスであり、フライホイール電流が流れるので、 V_{\odot} から第1のダイオード15-1、第1の電磁石コイル、第1のシャント41を経て0Vへ電流が流れる。そして第1の電磁石コイル21にはおよそ V_{\odot} の電位があるので $V_{\odot} = L \frac{di}{dt}$ に従って電流が減少していく。

電流が減少していき、第1の増幅器51の出力が I_{\odot} より小さくなると、以下、上記の動きをくり返していき、第1の電磁石コイル21に流れる電流が I_{\odot} に追従されるのである。

第2の電流制御系は V_{\odot} を利用しているものの第1の電流制御系と同様の動作をするのはいうまでもない。

いずれにおいても V_{\odot} と V_{\odot} の大きさと同じにしておくと、電流の立上り、立下りがおよそ同じになり、電流制御の応答性を高くすることができ

るのである。しかし、上記第1、第2の電流制御系の電磁石コイルに流れる電流が異なる場合、一方の電源は放電量が多くなり、他方の電源は、充電量が多くなる。放電量が多くなった電源は、大もとの電源からチャージされるから電圧が下ることをまぬがれるが、充電量が多くなった電源は、大もとの電源に放電することはできないので、電圧が上昇してしまうということになる。これを防ぐために、第1、第2の電流制御系と同じ構成で、リアクトルを用いる第3、第4の電流制御系を構成し、さらに電圧制御系も構成する。それを示したのが第3図であり、そこに用いる第1図の制御系を書きかえたのが第2図である。

図中、93、94は第3及び第4の電流制御回路、23、24は第3及び第4の主回路であり、第3図中央の23、24にはグレーのリアクトルを用いている。同図右側の21、22は磁気軸受の電磁石コイルを含む主回路であり電流制御回路は省略している。

V_{\odot} 、 V_{\odot} はそれぞれ正及び負の直流電源であ

15

り、グランド0Vとの間に平滑用のコンデンサが設けられている。31、32は V_{\odot} 、 V_{\odot} の電圧を検出する電圧検出器で、その信号を加算器4で加算した信号が電圧制御器5の入力となっている。

5はPID制御器であるが、I（積分補償）とD（微分補償）は無くても構わない。

I_{\odot} は第3の電流制御回路93と第3の主回路23で構成される第1の電流制御系と、第4の電流制御回路94と第4の主回路24で構成される第2の電流制御系の基準電流の指令信号であり、 I_{\odot} と電圧制御器5の信号が加算器6によって加算されて、第3の電流制御回路93の入力信号となり、 I_{\odot} と電圧制御器5の信号が減算器7によって減算されて第4の電流制御回路94の入力信号となっている。

このような構成のもとで、 $|V_{\odot}| < |V_{\odot}|$ となったとしよう。そうすると、電圧検出器31、32によって検出された V_{\odot} 、 V_{\odot} の信号が加算器4で加算されると-となる。そしてその信号に応じて電圧制御器5も-を出力し、加算器6によって I_{\odot} と加算された信号 I_{\odot} は I_{\odot} より大きくなり、減算器7によって I_{\odot} と減算された信号 I_{\odot} は I_{\odot} より小さくなる。

16

よって I_{\odot} と加算された信号 I_{\odot} は I_{\odot} より小さくなり、また減算器7によって I_{\odot} と減算された信号 I_{\odot} は I_{\odot} より大きくなる。

従って第1の主回路21のリアクトルの電流は減少し、第2の主回路22のリアクトルの電流は増加し、各々のリアクトルの加速電流とフライホイール電流を合計すると V_{\odot} から V_{\odot} へ電流が流れに等しくなる。

このことは V_{\odot} の電圧が増加、 V_{\odot} の電圧の大きさが減少することを意味している。

他方、 $|V_{\odot}| > |V_{\odot}|$ となつたとしよう。そうすると、電圧検出器31、32によって検出された V_{\odot} 、 V_{\odot} の信号が加算器4で加算されると+となる。その信号に応じて電圧制御器5も+を出力し、加算器6によって I_{\odot} と加算された信号 I_{\odot} は I_{\odot} より大きくなり、減算器7によって I_{\odot} と減算された信号 I_{\odot} は I_{\odot} より小さくなる。

従って第1の主回路21のリアクトルの電流は増加し、第2の主回路22のリアクトルの電流は減少し、各々のリアクトルの加速電流とフライホ

17

18

イール電流を合計すると、 V_{\odot} から V_{\odot} へ電流が流れたに等しくなる。

以上の動作の結果、磁気軸受用パワーアンプの動作により V_{\odot} 、 V_{\odot} の大きさが変動しようとしても V_{\odot} と V_{\odot} の大きさは一定に保たれるのである。

(変形例)

スイッチング素子は F E T でもよいし、他の種類の素子でもよい。

ベースドライブ回路は入出力を絶縁しないものでもよい。

電流検出はホール素子によるものでもよい。

第 1 と第 2 の電流制御系は、各々単独に使うこともできるし、異なる数の組合せを使ってもよい。

第 1 の電流制御系と、第 4 の電流制御系を用いた電圧制御系との組合せでも用いることができる。

また、第 2 の電流制御系と、第 3 の電流制御系を用いた電圧制御系との組合せでも用いることができる。

(発明の効果)

電流制御の応答性を高くすることができるので、磁気吸引力発生装置の制御ループの応答性を高めることができる。すなわち磁気吸引力発生装置としての剛性を大きくすることができ、制御ループの安定性も高めることができる。

1 つの電磁石にトランジスタ、ダイオード、シャントが各 1 個でよいので、簡単かつローコストである。またベースドライブ回路が 1 つでよいので、2 個用いる時に必要な信号の同期化が不要であり設計が容易である。

すなわち、P W M のキャリア周波数を上げて応答性を上げるのも容易となるのである。また電流検出に用いるシャントにはダイオードのリカバリーパラメータを考慮する必要がないので検出もされず、トラブルから解放されるというメリットももっている。

付加した電圧制御回路のため、電源電圧の変動も少なくおさえることができ、安定した電流制御が行なえる。

上記の効果は、電磁石コイルを多数用いるシス

1 9

2 0

テムで特に効果大である。

4. 図面の簡単な説明

第 1 図～第 3 図はそれぞれ本発明の実施例のブロック図である。

1 4 - 1 … 第 1 のトランジスタ

1 4 - 2 … 第 2 のトランジスタ

2 1 … 第 1 の電磁石コイル

2 2 … 第 2 の電磁石コイル

1 5 - 1 … 第 1 のダイオード

1 5 - 2 … 第 2 のダイオード

4 1 … 第 1 のシャント

4 2 … 第 2 のシャント

5 1 … 第 1 の増幅器

5 2 … 第 2 の増幅器

6 1 … 第 1 のベースドライブ回路

6 2 … 第 2 のベースドライブ回路

7 1 … 第 1 の電流制御器

7 2 … 第 2 の電流制御器

8 1 … 第 1 の減算器

8 2 … 第 2 の減算器

4 … 加算器

5 … 電圧制御器

6 … 加算器

7 … 減算器

8 … コンデンサ

9 … 電流制御器

1 0 … 増幅器

1 1 … ベースドライバ

1 2 … シャント

1 3 … 電磁石コイル

1 4 … トランジスタ

1 5 … ダイオード

3 3, 3 2 … 電圧検出器

2 1 … 第 1 の主回路

2 2 … 第 2 の主回路

2 3 … 第 3 の主回路

2 4 … 第 4 の主回路

9 1 … 第 1 の電流制御回路

9 2 … 第 2 の電流制御回路

9 3 … 第 3 の電流制御回路

2 1

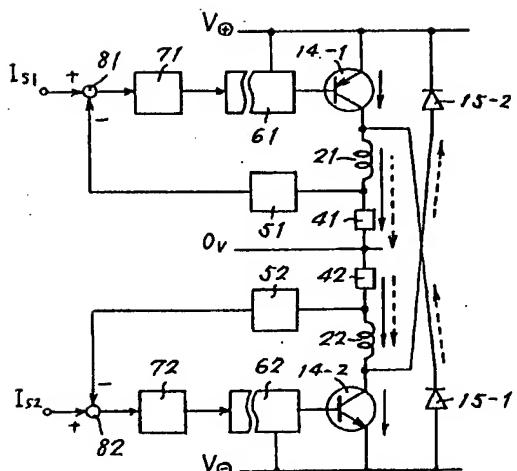
2 2

94 第4の電流制御回路

特許出願人 株式会社 安川電機製作所
 同代理人 服 部 勝

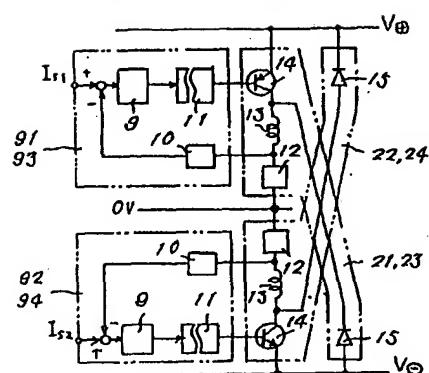
23

第一 図

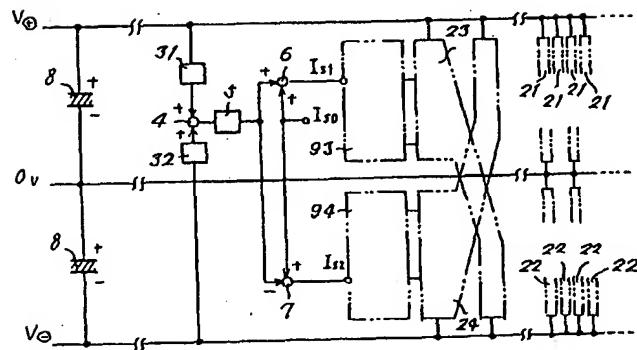


- 14-1 … 第1のトランジスタ
- 14-2 … 第2のトランジスタ
- 21 … 第1の電磁石コイル
- 22 … 第2の電磁石コイル
- 15-1 … 第1のダイオード
- 15-2 … 第2のダイオード
- 41 … 第1のシャント
- 42 … 第2のシャント
- 51 … 第1の増幅器
- 52 … 第2の増幅器
- 61 … 第1のベースドライブ回路
- 62 … 第2のベースドライブ回路
- 71 … 第1の電流制御器
- 72 … 第2の電流制御器
- 81 … 第1の演算器
- 82 … 第2の演算器

第 2 図



第 3 図



4 … 加算器

5 … 電圧制御器

6 … 加算器

7 … 汗算器

8 … コンデンサ

9 … 電流制御器

10 … 増幅器

11 … ベースドライバ

12 … シャント

13 … 電磁石コイル

14 … ランジスト

15 … ダイオード

32 … 電圧検出器

21 … 第 1 の主回路

22 … 第 2 の主回路

23 … 第 3 の主回路

24 … 第 4 の主回路

91 … 第 1 の電流制御回路

92 … 第 2 の電流制御回路

93 … 第 3 の電流制御回路

94 … 第 4 の電流制御回路